

**Die Eignung der
Radiophotolumineszenzdosimetrie
für die medizinische Dosimetrie**

von
Herbert Vogel
aus Erlangen

1965

1965 № 141

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Erlangen
Direktor: Prof. Dr. med. N. Henning

DIE EIGNUNG DER RADIOPHOTOLUMINESZENZDOSIMETRIE
FÜR DIE MEDIZINISCHE DOSIMETRIE

INAUGURAL - DISSERTATION
zur
ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
der
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
der
FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT
ERLANGEN - NÜRNBERG

vorgelegt von
Herbert Vogel
Erlangen

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Professor Dr. Dr. G. Steinhardt
Referent: Professor Dr. F. Wachsmann
Korreferent: Professor Dr. N. Henning

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Oktober 1965

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. <u>Einleitung und Aufgabenstellung</u>	1
2. <u>Grundlagen der Radiophotolumineszenzdosimetrie</u>	1
2, 1. Chemische Zusammensetzung des verwendeten Silberphosphatglases	1
2, 2. Auswertung des Silberphosphatglases	2
3. <u>Experimenteller Teil</u>	2
3, 1. Benutzte Apparatur	2
3, 2. Ausgeführte Messungen	3
3, 2. 1. Anzeigeschwankungen des Gerätes	3
3, 2. 2. Eichung des Gerätes und Linearität der Anzeige	4
3, 2. 3. Nulleffekt der Gläser	5
3, 2. 4. Temperatur- und Zeitverhalten	6
3, 2. 5. Anzeigegenauigkeit der Gläser	8
3, 2. 6. Energieabhängigkeit	9
3, 2. 7. Empfindlichkeitsänderung beim Regenerieren	11
3, 2. 8. Messung der Tiefen- und Seitendosen bei 100 kV, 200 kV, 300 kV, 2,4 MV Normalstrahlung	14
4. <u>Schlußfolgerungen</u>	19
5. <u>Zusammenfassung</u>	20
6. <u>Literaturverzeichnis</u>	21
7. <u>Lebenslauf</u>	



Digitized by the Internet Archive
in 2026

1) Einleitung und Aufgabenstellung.

In den letzten Jahren sind eine Reihe von neuen dosimetrischen Methoden und zwar vor allem sogenannte "Festkörperdosimeter" angegeben worden. Von diesen Dosimetersystemen haben sich als brauchbar erwiesen:

- 1.) Halbleiterdosimeter mit Cd S - Kristallen
- 2.) Thermolumineszenzdosimeter mit
CaF₂/Mn, MgF₂/Mn und Li F - Kristallen
- 3.) Radiophotolumineszenzdosimeter
mit Silberphosphatgläsern.

Das letztgenannte Verfahren wurde zuerst von Weyl, Schulman, Altix und Mitarbeitern (1), (2), (3), (4), (5) beschrieben und zu Strahlenschutzmessungen angewendet. Das Silberphosphatglas hat gegenüber anderen Verfahren den Vorteil, daß die Dosisanzeige durch den Auswertungsprozeß nicht gelöscht wird. So kann also jederzeit die Gesamtdosis als auch die Dosisdifferenz zwischen der letzten und der vorhergehenden Belichtung abgelesen werden. Weitere Vorteile der Methode sind die geringe Größe des Detektors, die sofortige Auswertungsmöglichkeit und die beliebig häufige Wiederverwendbarkeit. Nachteilig erwies sich die starke Energieabhängigkeit, während sich die für die Personendosimetrie zu geringe Empfindlichkeit für klinische Zwecke als ausreichend erwies. Die Nachteile wurden durch die Einführung des Yokota-Glases (6) verbessert, so daß der Anwendungsbereich auch auf die medizinische Dosimetrie erweitert werden konnte. In der vorliegenden Arbeit werden nun die Eigenschaften der Silberphosphatgläser überprüft und ihre Eignung für die medizinische Dosimetrie untersucht.

2) Grundlagen der Radiophotolumineszenzdosimetrie

2, 1.) Glaszusammensetzung:

Das zu unseren Versuchen benutzte Yokota-Glas besteht aus Lithium und Aluminiumphosphat, einem Zusatz von 8 % Silberphosphat und einem Zusatz von 3 % Boroxyd.

2, 2.) Auswertung des Silberphosphatglases.

Nach Hardt und Mitarbeitern (7) werden durch im Glas absorbierte energiereiche ionisierende Strahlen positive Ag-Ionen (Ag^+ -Zentren) durch die infolge Ionisation gebildeten Elektronen zu atomarem Silber reduziert. Die Menge der gebildeten Ag-Atome ist dabei der eingestrahelten Dosis proportional. Das Prinzip der Auswertung besteht darin, daß die gebildeten neutralen Silberatome fluoreszenzfähig sind. Bei Einwirkung von UV-Licht auf das Ag-Phosphatglas wird bei einer bestimmten Wellenlänge von etwa $3000 \text{ \AA}^\circ$ eine Fluoreszenzstrahlung im sichtbaren Spektralbereich erzeugt. Diese Strahlung wird mit Hilfe eines Elektronenvervielfachers gemessen. Der Multiplierstrom wird verstärkt und auf einem Ampèremeter abgelesen. Zur ausführlichen theoretischen Deutung der UV-induzierten Radiophotolumineszenz siehe Vogel und Becker (8).

3) Experimenteller Teil

3, 1.) Benutzte Apparatur

Die von uns ausgeführten Messungen wurden mit Hilfe des Fluoroglasdosimeters Type FGD 3 B der Firma Toshiba, Tokio, vorgenommen. Abb. 1 zeigt dieses Gerät, das aus

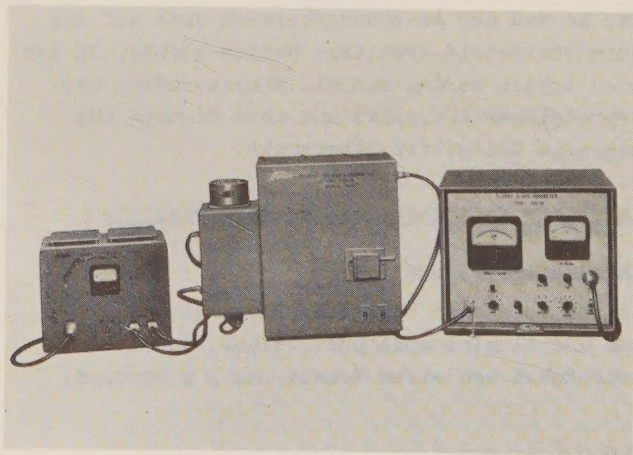


Abb. 1

Fluorometer Type FGD 3 B der Firma Toshiba, Tokio

einem Netzstabilisator, einem optischen Teil (UV-Lampe, Filter, Einschubvorrichtung für die Gläser, Photomultiplier) und einer Meßeinheit (Stromverstärker, Stromanzeige) besteht. Die Lumineszenzeinheit ist mit Luft- und Wasserkühlung versehen.

Für die im folgenden beschriebenen Experimente wurden zylindrische Gläser von 1 mm $\varnothing$ und 6 mm Höhe (FD-P6-1), sogenannte Fluorods, und rechteckige Gläser (FD-P8-1) von 8 mm Länge, 8 mm Höhe und 4,7 mm Breite benutzt, wobei eine Schmalseite zu Beschriftungszwecken mattiert war. Die Messungen erfolgten im Vergleich zu Samarium-aktivierten Eichstandards.

3, 2.) Ausgeführte Messungen

3, 2. 1) Anzeigeschwankungen des Gerätes

Zweck dieses Versuches war es, festzustellen, ob das Gerät bei längerem Betrieb Schwankungen aufweist, die sich beim Auswerten der Gläser nachteilig bemerkbar machen. Zur Durchführung des Versuches wurde ein Eichkristall verwendet, der ein konstantes Fluoreszenzlicht liefert. Der Kristall wurde über einen Zeitraum von 8 Stunden kontinuierlich gemessen, wobei die Apparatur dauernd in Betrieb war. Abb. 2 zeigt die Anzeigeschwankungen des Fluoroglasdosimeters. Auf der Abszisse ist die Einschaltdauer des Gerätes in Stunden aufgetragen, auf der Ordinate die rel. Dosisanzeige in Prozent. Als 100 % wurde der Meßwert nach 15 Minuten angenommen, da man laut Gebrauchsanweisung (9) des Fluoro-Glas-Dosimeters der Firma Toshiba nach dem Einschalten des Gerätes 15 Minuten warten soll, bis man mit den Messungen beginnt. Diese Zeit benötigt die UV-Lampe, um eine konstante Lichtintensität zu liefern. Aus der Abb. 2 ist zu ersehen, daß es zweckmäßig erscheint, mit den Messungen nicht früher als 30 Minuten nach Einschalten des Gerätes zu beginnen. Von einer halben Stunde bis zu einer Dauer von 6 Stunden sind die Schwankungen der Apparatur sehr gering, so daß ein einmaliges Einstellen der Empfindlichkeit 30 Minuten nach Einschalten des Gerätes genügt. Wenn das

Glas-Dosimeter länger als 6 Stunden in Betrieb ist, tritt trotz Luft- und Wasserkühlung eine stärkere Streuung der Anzeige auf, so daß eine Nachstellung der Empfindlichkeit notwendig wird. Die Ursache hierfür sind Schwankungen in der Intensität der UV-Lampe. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Reproduzierbarkeit der Anzeige des Gerätes von 1/2 h bis zu einer Betriebsdauer von 6 Stunden sehr gut ist.

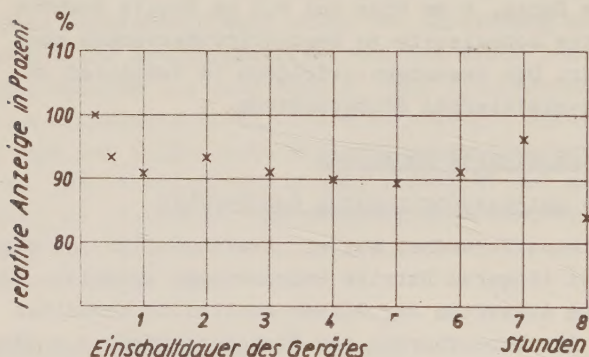


Abb. 2

Anzeigeschwankungen des Gerätes

3, 2. 2) Eichung des Gerätes und Linearität der Anzeige

Um stets unter konstanten Bedingungen messen zu können, wurde mit Hilfe der von der Lieferfirma erhaltenen Referenzgläser eine Eichkurve aufgenommen. Die Referenzgläser sind mit einer bestimmten Menge Samarium aktiviert und täuschen durch Eigenfluoreszenz eine eingestrahlte Dosis vor. Abb. 3 zeigt die Eichkurve der 1 $\varnothing$ x 6 mm großen Gläser. Analog wurde eine Kalibrationskurve auch für die 8 x 8 x 4,7 mm Gläser aufgenommen. Bei den folgenden Messungen wurden die Standards 30 Minuten nach Einschalten des Gerätes gemessen und die Multiplierspannung so lange geändert, bis die Standards auf der Eichkurve liegende Werte ergaben. Somit waren die Auswertebedingungen immer konstant. Aus Abb. 3 geht die Linearität der Eichgläser hervor. Da die Kurve der Standards nur bis etwa 70 R geht, war es interessant zu sehen, ob die Linearität auch bei höheren Dosen gewahrt bleibt.

Dazu wurde ein $1 \text{ } \varnothing \times 6 \text{ mm}$ Kristall mit Dosen von 70, 100, 150, 250, 500, 1000 und 2000 R bestrahlt. Abb. 3 zeigt das Ergebnis. Bis in hohe Dosisbereiche hinauf ist eine lineare Anzeige gewährleistet. Diese Kurve ist gegenüber der mit Hilfe der Standards gewonnenen Kurve etwas parallel verschoben. Das kommt daher, daß für die Standards ein zu niedriger Dosiswert angegeben wird.

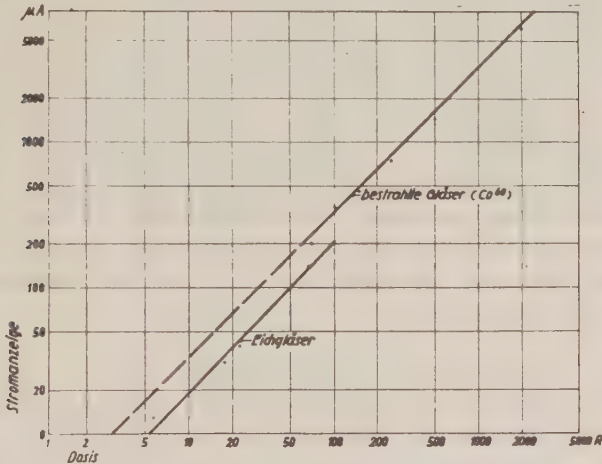


Abb. 3
Eichkurve der $1 \text{ } \varnothing \times 6 \text{ mm}$ Gläser

3, 2. 3) Nulleffekt der Gläser

Die Größe des Nulleffektes hängt nach Becker (10) von der Zusammensetzung des Glases, von Verunreinigungen mit Fluoreszenzeigenschaften, wie Mangan und seltenen Erden, von der Schmelztechnik, der Oberflächenbeschaffenheit des Glases und der fluorometrischen Anordnung ab. Die fluorometrische Anordnung besteht in einer geeigneten Filterung, die möglichst nur die strahleninduzierte Fluoreszenz zur Messung gelangen läßt. Der Nulleffekt beträgt bei den $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}$ Gläsern etwa 500 mR, bei den $1 \text{ } \varnothing \times 6 \text{ mm}$ Gläsern etwa 2 R. Hieraus ergibt sich, daß die Stäbchen für die Messungen, die sich im Bereich von einigen Röntgen und darunter bewegen, nicht geeignet sind. Die Ursache der erhöhten Vordosis der Stäbchen gegenüber den rechtecki-

gen Gläsern dürfte dadurch bedingt sein, daß das Streulicht der Meßanordnung - größere Küvette und damit mehr Metall im UV-Lichtbündel - größer ist.

Bei der Auswertung der Gläser ist zu beachten, daß kleine Verunreinigungen auf der Kristalloberfläche, sowohl durch Eigenfluoreszenz als auch durch Streulicht, Fluoreszenzintensitäten erzeugen, die einigen Röntgen äquivalent sind. Insbesondere ist das Anfassen der Detektoren mit den Fingern zu vermeiden, da hierdurch das Glas mit Hautfett verunreinigt wird. Deshalb ist zu empfehlen, die Kristalle nur mit Pinzetten anzufassen. Vor unseren Messungen wurden die Gläser routinemäßig gereinigt und zwar durch Schwenken in Azeton, Aqua dest. und Alkohol. Auch Kiefer und Maushart (11) empfehlen diese dreistufige Reinigung. Becker (12) schlägt vor, die Kristalle mit Ultraschallgeräten zu reinigen. Unter Verwendung solcher Geräte kann es möglich sein, die Vordosis zu senken, da es sich bei den Messungen herausstellte, daß eine vollständige Sauberkeit nur sehr schwer zu erreichen war.

3, 2. 4) Temperatur- und Zeitverhalten

Um das Temperatur- und Zeitverhalten der Kristalle nach der Bestrahlung zu überprüfen, wurde ein Kristall bei Zimmertemperatur gelagert und seine Anzeige über einen Zeitraum von 200 Stunden verfolgt. Abb. 4 zeigt, daß die Dosisanzeige sofort nach der Bestrahlung am geringsten ist, erst schnell, dann langsamer ansteigt und sich dann einem Grenzwert nähert. Eine Erklärung für dieses Verhal-

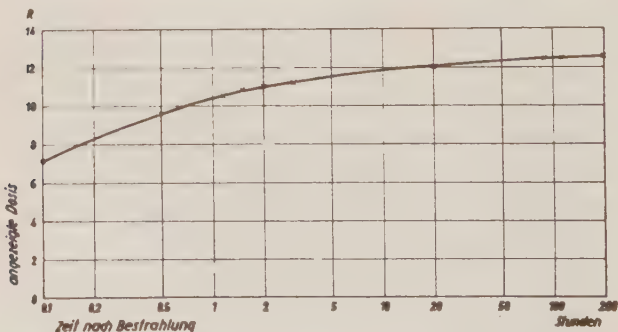


Abb. 4

Zeitabhängigkeit der Dosisanzeige bei Zimmertemperatur

ten könnte sein, daß alle bei der Bestrahlung im Phosphatglas gebildeten Elektronen nicht sofort mit Silber-Ionen reagieren, sondern ein Teil der Elektronen erst später die Ag^+ -Ionen reduziert. Nach 200 Stunden tritt ein geringes Fading auf, das im halben Jahr nicht größer als 2 % der maximalen Dosisanzeige ist.

Daß die nachträgliche Bildung von Silberatomen temperaturabhängig ist und beschleunigt werden kann, zeigt Abb. 5. Hierzu wurde ein Kristall 1/2 Stunde in siedendem Wasser (= 100°) erhitzt und daraufhin 1/2 Stunde abgekühlt. 1 Stunde nach Bestrahlung wurde die 1. Messung vorgenommen. Die letzte Messung erfolgte nach 200 Stunden. Die Kurve zeigt, daß sogleich 1 Stunde nach Bestrahlung ein Maximalwert erreicht wird, der auch noch nach 200 Stunden zu erhalten ist.

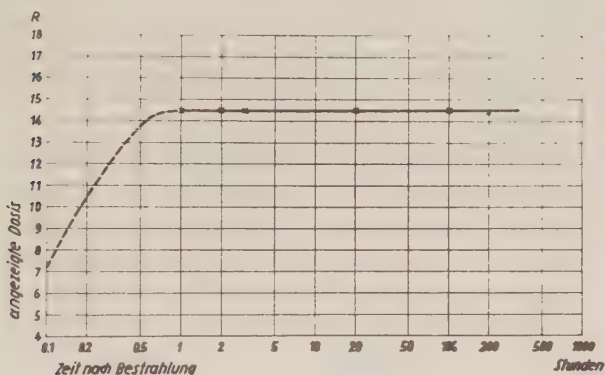


Abb. 5

Zeitabhängigkeit der Dosisanzeige nach Stabilisierung
(1/2 h auf 100° erhitzt)

Als Folgerung aus diesen Ergebnissen ergab sich, daß bei allen vor uns angestellten Messungen die Kristalle so ausgewertet wurden, daß sie nach der Bestrahlung 1/2 Stunde auf 100° erhitzt, darauf eine halbe Stunde abgekühlt und dann gemessen wurden. Diese Auswertebedingungen wurden konsequent angewandt.

Bei Vergleich der Abb. 4 und 5 ergibt sich, daß der maximale Wert in Abb. 5 etwa 15 % höher liegt als der in Abb. 4. Dieser Unterschied ist also durch die Wärmebehandlung ($1/2$ h bei 100°) verursacht.

3, 2. 5) Anzeigege nauigkeit der Gläser

Hier sollte festgestellt werden, inwieweit die Dosisanzeige von Silberphosphatgläsern, die unter identischen Bedingungen bestrahlt wurden, streut. Als Strahlenquelle wurde ein Siemens Gammatron mit Co^{60} Quelle von etwa 1200 Ci benützt. Die Dosisleistung betrug zum Zeitpunkt der Messungen in 50 cm F-Abstand im Elektronengleichgewicht 93 R/min. Es wurden insgesamt 75 Phosphatgläser ($1 \text{ } \varnothing \times 6 \text{ mm}$) mit einer Dosis von 150 R bestrahlt und unter den oben angeführten Auswertebedingungen gemessen. Aus den 75 Meßwerten wurde ein Mittelwert errechnet. Die Abb. 6 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Meßwerte. Auf der Abszisse ist die Abweichung vom gemeinsamen Mittelwert in Prozent aufgetragen, auf der Ordinate die Anzahl der Gläser pro eingezeichneten Intervall. Die Treppenkurve ergibt, daß bei 34 Gläsern, das sind 45 % der Gläser, eine Streuung der Dosisanzeige von kleiner als 2,5 % auftritt. Bei 60 Gläsern beträgt die Streuung weniger als 5 %.

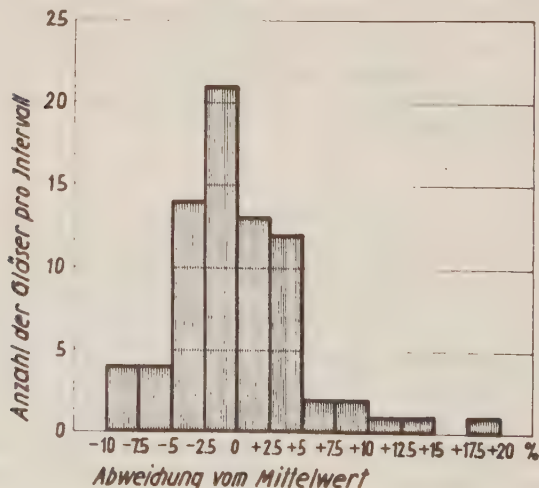


Abb. 6
Statistische Verteilung der Dosisanzeige
von 75 $1 \text{ } \varnothing \times 6 \text{ mm}$ Fluorods

Es läßt sich sagen, daß die Fehlerbreite der aus einer Schmelze gewonnenen Kristalle zufriedenstellend ist, im ungünstigsten Fall jedoch + 20 % beträgt, was jedoch bei Präzisionsmessungen, wie Ermittlung der Isodosen, eine beachtliche Fehlerquelle darstellt, die am besten durch vorherige Ermittlung eines Korrektionsfaktors beseitigt werden kann.

3, 2. 6) Energieabhängigkeit

Hier soll die Abhängigkeit der Dosisanzeige von der Energie der Strahlung untersucht werden. Als Strahlenquellen wurden verwandt:

im Bereich 10 - 40 kV Normalstrahlung: Stabilivolt I
mit Dermopan-
Beryllium Fenster-
röhre
der Firma
Siemens-Reiniger

im Bereich 50 - 200 kV Normalstrahlung: Stabilipan 200
der Firma
Siemens-Reiniger

im Bereich 200 - 300 kV Normalstrahlung: Stabilipan 300
der Firma
Siemens-Reiniger.

Als Strahlenquellen für energiereiche Strahlungen standen die radioaktiven Präparate Cs¹³⁷ (entsprechend etwa 1,2 MeV Normalstrahlung) und Co⁶⁰ (entsprechend etwa 2,4 MeV Normalstrahlung) zur Verfügung. Zur Zeit der Messungen hatten das verwendete Cs¹³⁷ Präparat eine Dosisleistung von 7,33 und das Co⁶⁰ Präparat eine Dosisleistung von 10,7 R/h in 10 cm Abstand.

Von den 8 x 8 x 4,7 mm Gläsern und den 1 Ø x 6 mm Gläsern wurden je 5 zu einer Messung verwandt. Von den CEC-Gläsern^(x) (1 Ø x 6 mm) standen nur 2 zur Verfügung. Aus den Meßergebnissen wurde ein Mittelwert gebildet. Zur Vergleichsmessung wurde eine Ionisationskammer herangezogen. Zu dem Meßwert der Ionisationskammer wurde für die Mittelwerte der gemessenen Gläser ein Korrektionsfaktor errechnet und in Abb.7 auf der Ordinate aufgetragen. Auf der Abszisse ist die Strahlenqualität in Normalstrahlung aufgetragen.

(x) Zu Vergleichsmessungen wurden Fluorods der Firma CEC Paris verwendet.

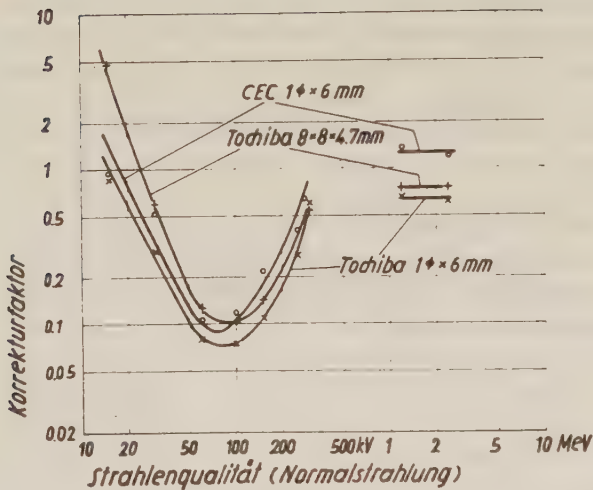


Abb. 7
Energieabhängigkeit

Abb. 7 zeigt die Abhängigkeit der 8 x 8 x 4,7 mm Yokota-, der 1 ø x 6 mm Yokota- und der 1 ø x 6 mm CEC-Gläser von der Strahlungsenergie. Der Verlauf der 3 Kurven zeigt, daß die Meßpunkte von Cs^{137} und Co^{60} etwa auf gleicher Höhe liegen, während der Korrektionsfaktor mit abnehmender Strahlungsenergie immer kleiner wird. Das bedeutet, daß die Empfindlichkeit größer wird und bei etwa 80 - 100 kV ein Maximum erreicht, um dann bei weiterer Abnahme der Strahlungsenergie wieder abzunehmen. Die 8 x 8 x 4,7 mm Gläser zeigen im Korrektionsfaktorminimum (= Empfindlichkeitsmaximum) etwa 7 mal mehr an als bei Co^{60} Strahlung. Bei den 1 ø x 6 mm Yokota-Gläsern zeigt sich ein Unterschied um den Faktor 10. Die CEC-Gläser zeigen einen Empfindlichkeitsunterschied um den Faktor 11. Als Folgerung ergibt sich, daß eindeutige Messungen nur bei harten oder ultraharten Strahlungen zu erreichen sind. Bei Energien kleiner als 300 kV Normalstrahlung muß man mit der Auslegung der Meßergebnisse sehr vorsichtig sein. Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Energieabhängigkeit der Silberphosphatgläser zu

verbessern. So besteht die Möglichkeit, das zermahlene Glas einem niederatomigen Kunststoff beizumengen (13). Weiterhin kann man die Gläser durch geeignete Metallfilter, z.B. Cu, Cd, Pb, abdecken und so die Energieabhängigkeit verbessern (7), (10), (14), (15). Das hat jedoch den Nachteil, daß man eine Vergrößerung des Detektors in Kauf nehmen muß. Außerdem werden weiche Strahlen nicht mehr erfaßt.

3, 2. 7) Empfindlichkeitsänderung beim Regenerieren

Unter Regenerieren versteht man das Löschen der Dosis bis auf einen Vordosiswert. Hierzu wurden die Silberphosphatgläser eine halbe Stunde lang einer Temperatur von 300° ausgesetzt. Nach wiederholtem Regenerieren konnte eine Erhöhung der Vordosiswerte festgestellt werden infolge irreversibler Veränderungen im Glas. Um festzustellen, ob sich die Empfindlichkeit der Phosphatgläser durch das Regenerieren ändert, wurde eine größere Meßreihe durchgeführt. Es wurden 30 $1 \text{ } \varnothing \text{ } \times \text{ } 6 \text{ mm}$ Gläser verwandt. Nachdem sie in der oben angeführten Weise regeneriert waren, wurden sie im Siemens Gamma-tron (siehe Seite 8) mit einer Dosis von etwa 100 R bestrahlt. Nach unseren Auswertebedingungen wurden sie dann $1/2$ Stunde bei 100° ausgeheizt, anschließend $1/2$ Stunde abgekühlt und dann ausgemessen. Von den gefundenen 30 Meßwerten wurde die vorher ermittelte Vordosis abgezogen und ein Mittelwert gebildet, der einer relativen Empfindlichkeit von 1 gleichgesetzt wurde. Von diesem Mittelwert ausgehend wurde für jedes Glas ein Korrektionsfaktor errechnet, der ein Maß für die Empfindlichkeitsstreuung darstellt. Diese Messungen wurden 3 mal wiederholt, so daß sich ein Überblick über 4 Regenerierungen ergab. Abb. 8 zeigt das Ergebnis dieser Versuche, nämlich die mittlere Empfindlichkeitsänderung von 30 Fluorods über 4 Regenerierungen hinweg. Auf der Ordinate ist der oben erwähnte Korrektionsfaktor als Maß für die relative Empfindlichkeit aufgetragen, auf der Abszisse die Anzahl der Regenerierungen. Jeder Punkt ist das Mittel von 30 Meßergebnissen. Es zeigt sich, daß die mittlere Empfindlichkeit nach jedem Rege-

nerieren leicht zunimmt. Jedoch werden auch die maximalen Abweichungen vom Mittelwert größer. In Abb. 8 sind diese maximalen Abweichungen eingetragen. Sie zeigen, daß sich die Differenz zwischen oberer und unterer Abweichung vom Mittelwert bei wiederholtem Regenerieren erheblich steigert. Die Variationsbreite der relativen Empfindlichkeit nimmt in Abhängigkeit von den Regenerierungen von 0,4 auf 0,5, 0,7 und 1,7 zu. Es fällt weiterhin auf, daß die Empfindlichkeitsstreuung nach der oberen Seite erheblich größer ist als nach der unteren Seite.

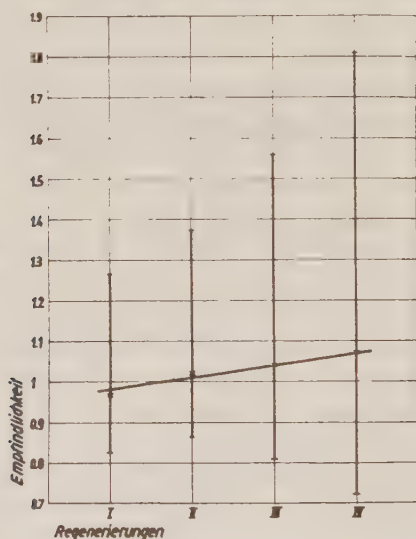


Abb. 8

Mittlere Empfindlichkeitsänderung über 4 Regenerierungen
von 30 Fluorods 1 Ø x 6 mm
mit maximalen Abweichungen

Um nun zu sehen, wie die Empfindlichkeitsstreuung der Kristalle verteilt ist, wurde das Verhalten jedes einzelnen Glases über die 4 Regenerierungen hinweg aufgezeichnet. Die Abb. 9, 10, 11 zeigen die Empfindlichkeitsänderungen von 30 Fluorods. Auf jeder Abbildung sind je 10 Gläser verfolgt. Aus diesen Abbildungen ist zu ersehen, daß etwa 73 %

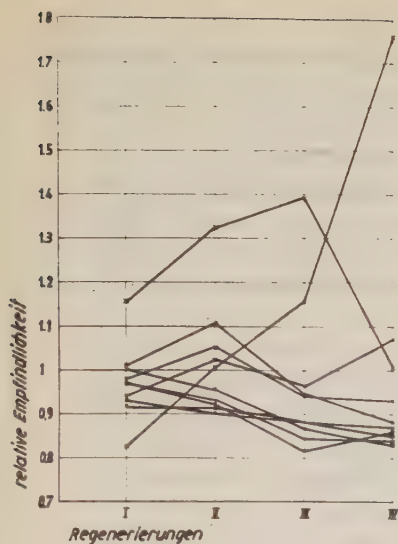


Abb. 9

Untersuchung von 10
1 Ø x 6 mm Gläsern auf
Empfindlichkeitsänderung
über 4 Regenerierungen

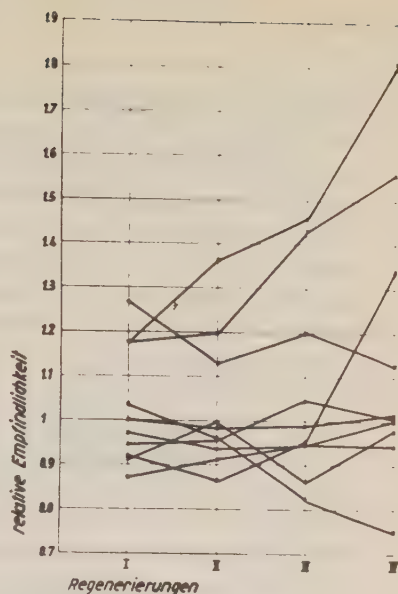


Abb. 10

Untersuchung von 10
1 Ø x 6 mm Gläsern auf
Empfindlichkeitsänderung
über 4 Regenerierungen

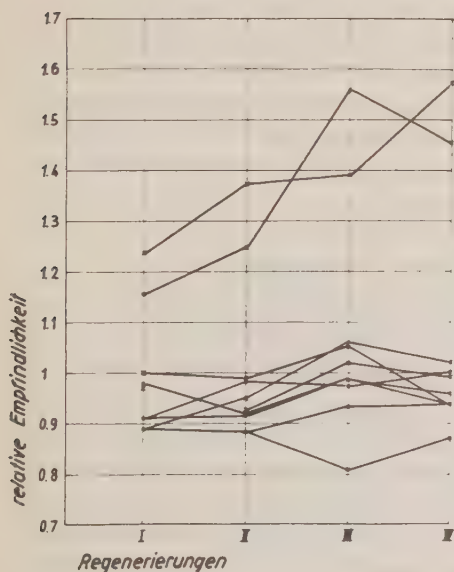


Abb. 11

Untersuchung von 10
1 Ø x 6 mm Gläsern auf
Empfindlichkeitsänderung
über 4 Regenerierungen

der Gläser ihre Empfindlichkeit nur unwesentlich ändern. die restlichen 27 % der Silberphosphatgläser streuen entweder von Beginn der Regenerierungen an oder erst bei wiederholtem Regenerieren. Es ist also ohne weiteres möglich, daß sich bei Meßreihen, bei denen Regenerierungen notwendig werden, erhebliche Fehler einschleichen können, die durch diese Empfindlichkeitsänderungen verursacht sind. So traten bei der Messung der Tiefendosen und des seitlichen Dosisabfalles immer wieder Meßpunkte auf, die völlig aus der Reihe fielen und eine genaue Ermittlung der Kurven unmöglich machten. Erst bei Berücksichtigung der oben angeführten Tatsachen und unter Verwendung entsprechender Korrektionsfaktoren konnten zufriedenstellende Tiefendosis- und Seitendosiskurven hergestellt werden. Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß es nicht richtig ist, wenn man behauptet, die Empfindlichkeit werde durch das Regenerieren nicht beeinflusst. Nur die mittlere Empfindlichkeit ändert sich wenig. Bei etwa 27 % der Fluorods trat bei unseren Versuche sehr wohl eine nennenswerte Empfindlichkeitsänderung beim Regenerieren auf.

3, 2. 8) Messung der Tiefen- und Seitendosen

Um die Silberphosphatgläser auf ihre Brauchbarkeit für die medizinische Dosimetrie zu überprüfen, wurden bei verschiedenen Strahlungsenergien Tiefen- und Seitendosen gemessen. Als Vergleich wurden entsprechende Messungen mit einer Ionisationskammer herangezogen, da die medizinische Dosimetrie auch heute noch fast ausschließlich auf der Ionisationsmethode beruht.

Als Strahlenquellen wurden verwendet:

- 100 kV Normalstrahlung am Siemens Stabilipan
- 200 kV Normalstrahlung am Siemens Stabilipan
- 300 kV Normalstrahlung am Siemens Stabilipan
- 1,2 MeV monochromatische γ -Strahlung von Co^{60}

Die Messungen selbst wurden in einem Wasserphantom durchgeführt. Es bestand aus einem 57 x 38 x 39 cm großen Kunststoffbecken, das mit Wasser angefüllt wurde. Am Boden des Kunststoffbeckens wurde eine 1,1 cm dicke Plexiglasscheibe mit einem Durchmesser von 28,5 cm befestigt. Die Plexiglasscheibe wies Bohrungen auf, die einen Abstand von 1,0

bzw. 1,5 cm voneinander hatten. Jede Bohrung hatte einen Durchmesser von 7 mm. In die Bohrungen wurden in bestimmten Abständen Bolzen aus Plexiglas gesteckt, die eigens zu diesem Zweck angefertigt wurden (Abb. 12). Die Bolzen wurden deshalb aus Plexiglas gearbeitet, da dieses etwa die gleiche Ordnungszahl und Dichte wie Wasser hat. Sie wurden als Träger für die Fluorods bei der Messung der Tiefen- und Seitendosen verwendet.

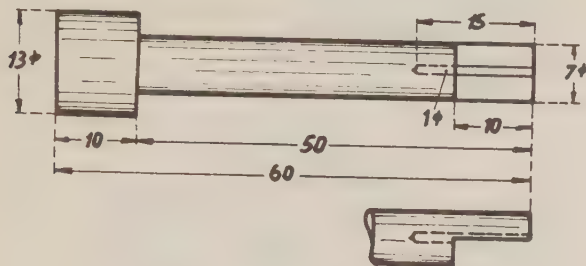


Abb. 12
Halterung für Fluorods

Als Ionisationskammer wurde eine Kleinkammer des Simplex Universal Dosimeter der Firma Technisch-Physikalische Werkstätten verwendet. Bei allen Messungen betrug der Abstand zwischen Fokus und Wasseroberfläche 50 cm und die Feldgröße 100 cm^2 . Die Tiefendosen wurden im Zentralstrahl bis zu einer Wassertiefe von 22 cm gemessen. Die Seitendosis wurde in 10 cm Wassertiefe senkrecht zum Zentralstrahl gemessen und zwar bis zu einer Entfernung von 16 cm vom Zentralstrahl.

Abb. 13 zeigt den Tiefen- und Seitendosisabfall, gemessen mit Fluorods bzw. der Ionisationskammer bei 100 kV Normalstrahlung. Aus der Tiefendosis Kurve geht hervor, daß die Werte der Glasdosimeter in der Tiefe tiefer liegen als die Werte der Ionisationskammer. Mit zunehmender Wassertiefe wird die Differenz zwischen beiden Kurven größer. Der Seitendosisabfall bei 100 kV zeigt, daß die Kristalle innerhalb des Primärstrahlenkegels weniger anzeigen. Da in 10 cm Tiefe eine Differenz zwischen Phosphatglas- und Kammerwert besteht, so taucht diese Differenz beim Seitendosis-

abfall direkt im Zentralstrahl wieder auf. In einem Abstand von 7 cm vom Zentralstrahl berühren sich beide Kurven, um dann bei einem Abstand von etwa 9 cm wieder auseinanderzugehen. Von hier ab liefert das Phosphatglas wieder niedrigere Werte als die Ionisationskammer.

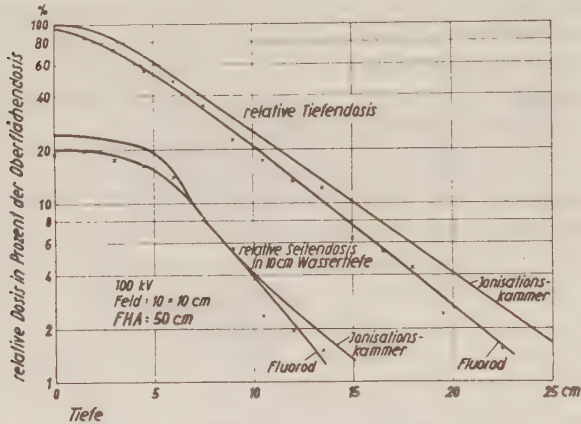


Abb. 13

Relative Tiefen- und Seitendosis
bei 100 kV Normalstrahlung, 10 x 10 cm
großem Feld und einem Fokus-Oberflächen-
abstand von 50 cm.

Abb. 14 zeigt den Tiefen- und Seitendosisabfall bei 200 kV Normalstrahlung. Aus der Tiefendosiskurve geht hervor, daß die Werte der Fluorods mit den Werten der Ionisationskammer bis in eine Tiefe von 6 cm übereinstimmen. Ab 6 cm Tiefe zeigen die Fluorods höhere Werte als die Ionisationskammer an, wobei der prozentuale Fehler mit zunehmender Wassertiefe zunimmt. So beträgt der prozentuale Fehler zum Beispiel in 20 cm Wassertiefe etwa 17 %.

Aus dem Seitendosisabfall bei 200 kV Normalstrahlung ist zu ersehen, daß die Werte der Fluorods höher liegen als die Werte der Ionisationskammer.

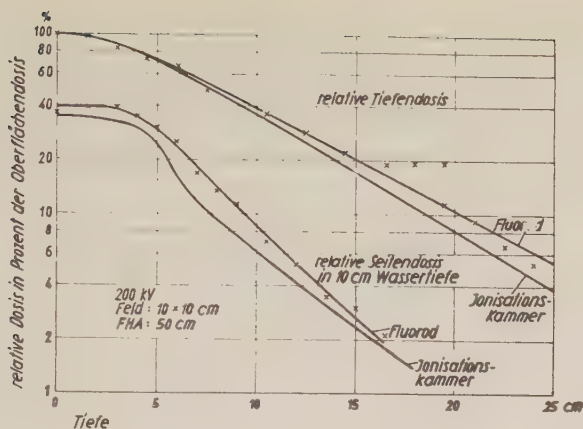


Abb. 14

Relative Tiefen- und Seitendosis
bei 200 kV Normalstrahlung, 10 x 10 cm
großem Feld und einem Fokus-Oberflächen-
abstand von 50 cm

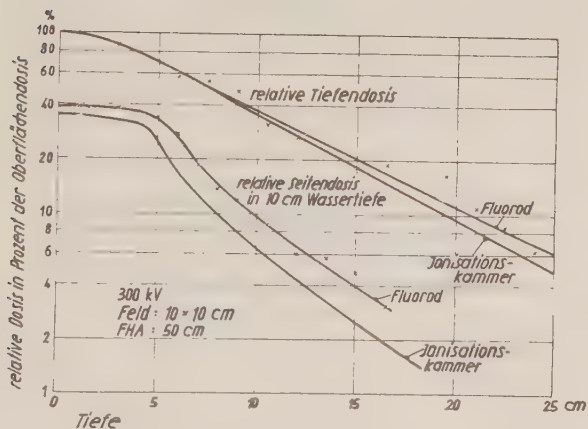


Abb. 15

Relative Tiefen- und Seitendosis
bei 300 kV Normalstrahlung, 10 x 10 cm
großem Feld und einem Fokus-Oberflächen-
abstand von 50 cm

Abb. 15 zeigt den Tiefen- und Seitendosisabfall bei 300 kV Normalstrahlung. Aus den Kurven für den Tiefendosisabfall ist zu entnehmen, daß die Werte der Fluorods mit den Werten der Ionisationskammer bis in eine Tiefe von etwa 9 cm übereinstimmen. Mit zunehmender Wassertiefe zeigen die Fluorods höhere Werte an als die Ionisationskammer.

Der seitliche Dosisabfall zeigt, daß die Werte der Phosphatgläser höher liegen als die Werte der Ionisationskammer. Mit zunehmendem Abstand vom Zentralstrahl scheint die Differenz größer zu werden.

Auf Abb. 16 ist der Tiefendosis- und Seitendosisabfall bei Co^{60} (2,4 MV Normalstrahlung) dargestellt. Die Tiefendosiskurven ergeben, daß die Fluorods geringere Werte anzeigen als die Ionisationskammer. In größerer Tiefe nimmt der prozentuale Fehler zu.

Der seitliche Dosisabfall bei Co^{60} ergibt, daß die Fluorods weniger anzeigen als die Ionisationskammer.

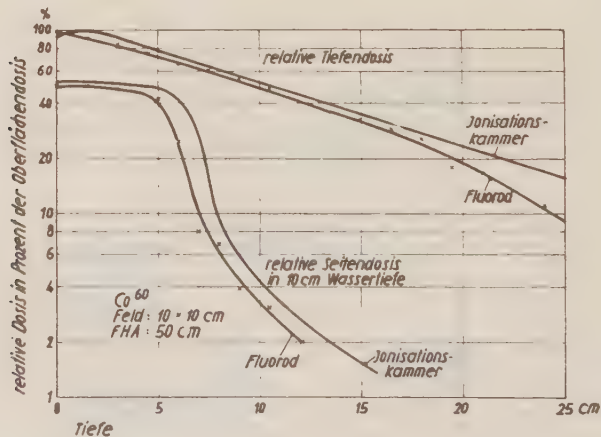


Abb. 16

Relative Tiefen- und Seitendosis bei Co^{60} , 10 x 10 cm großem Feld und einem Fokus-Oberflächenabstand von 50 cm.

4) Schlußfolgerungen

Die Radiophotolumineszenzdosimetrie besitzt zweifelsohne gewisse Vorteile für die medizinische Dosimetrie, wie z.B. die geringe Größe und die Sterilisierbarkeit des Detektors, sofortige Auswertmöglichkeit, häufige Wiederverwendbarkeit und gute Empfindlichkeit. Diesen Vorteilen stehen aber auch Nachteile gegenüber, über die in der Literatur bisher oft nichts gesagt ist. So macht sich die starke Energieabhängigkeit unangenehm bemerkbar. Es bleibt abzuwarten, ob durch andere Zusammensetzung des Glases die Energieabhängigkeit verbessert werden kann. Es muß auch berücksichtigt werden, daß bei einer Massenherstellung der Detektoren die Anzeigegenauigkeit der Gläser nach unseren Messungen vom Mittelwert bis zu 20 % nach oben und bis zu 10 % nach unten abweicht.

Auch konnten wir nach wiederholtem Regenerieren eine Empfindlichkeitszunahme feststellen. So ergaben sich nach dem 4. Regenerieren Abweichungen vom Mittelwert nach oben bis zu 100 % und nach unten bis zu 30 %. Um diese Fehlerquellen auszuschalten, ist eine Korrektur jedes einzelnen Meßwertes notwendig, der die ohnehin umständlichen Auswertebedingungen weiter kompliziert. Es ist deshalb zur Vereinfachung der Auswertung zu empfehlen, die Fluorods solange wie möglich nicht zu regenerieren, weil sich dabei die Empfindlichkeit der Gläser ändern und somit eine genaue Dosismessung erschweren kann.

Trotz der hier geschilderten Nachteile konnten mit den Fluorods Dosisverteilungskurven gemessen werden (Abb. 12 - 15). Damit kann man feststellen, daß die Fluorods für die medizinische Dosisermittlung in der Strahlentherapie bedingt geeignet sind. Insbesondere eröffnen sie neue Aspekte für die direkte Dosisermittlung durch Mitmessung am interessierenden Ort (16). Durch ihre kleinen Dimensionen und die Sterilisierbarkeit sind sie hervorragend geeignet, auch an schwer zugänglichen Körperstellen die Dosis direkt mit zu messen. Kommt doch gerade der direkten Dosisermittlung ein hohes Maß von Zuverlässigkeit zu, da alle Unregelmäßigkeiten, die sich durch Störungen der Bestrahlungsapparatur oder falsche Einstellungen ergeben, mit registriert werden.

Es darf jedoch nicht vergessen werden, daß die Unhandlichkeit der Fluorods (1 $\varnothing$ x 6 mm), der Auswerteanordnungen (Küvette) und der Auswertebedingungen (Sauberkeit) große Anforderungen an die Konzentration des Auswerters stellt. Es ist jedoch denkbar, mittels moderner Apparaturen den Auswertevorgang zu vereinfachen.

5) Zusammenfassung

Es werden die Grundlagen der Radiophotolumineszenz beschrieben und umfangreiche Messungen unternommen, um die Eigenschaften von Yokota Silberphosphatgläsern der Größe 1 $\varnothing$ x 6 mm und 8 x 8 x 4,7 mm zu untersuchen. So werden Nulleffekt, Zeit- und Temperatur-Verhalten; Linearität der Anzeige, Energieabhängigkeit, die statistische Verteilung der Dosisanzeige und die Empfindlichkeitsänderung beim Regenerieren experimentell untersucht.

Weiterhin werden die Fluorods auf ihre Eignung für die medizinische Dosimetrie überprüft, wobei eine Simplex Kleinkammer in Verbindung mit einem Simplex Universal-dosimeter als Vergleichsmaßstab benutzt wurde. Es konnte anhand von Tiefen- und Seitendosismessungen bei 100, 200, 300 kV Normalstrahlung und 1,2 MeV monochromatische γ -Strahlung von Co^{60} festgestellt werden, daß die Fluorods für die medizinische Dosimetrie bedingt geeignet sind, daß jedoch mit dem Auftreten gewisser Fehler gerechnet werden muß, die nicht vernachlässigt werden dürfen.

6) Literaturverzeichnis

- (1) Ginther, R.J. and J.H.Schulman: Nucleonics 18, 92 (1960)
- (2) Schulman, J.H. and H.W.Etzel: Science 118, 184 (1953)
- (3) Schulman, J.H., R.J.Ginther and C.C.Klick:
J.appl.Phys. 22, 1479 (1951)
- (4) Schulman, J.H., R.J.Ginther, W.Shurcliff and F.H.Altix:
Nucleonics 11, 52 (1953)
- (5) Weyl, W.A., J.H.Schulman, R.J.Ginther and L.W.Evans:
J.Electrochem.Soc. 95, 70 (1949)
- (6) Jokota R.S., Nakajima, and E.Sakai:
Health Physics 5, 219 (1961)
- (7) Hardt, H.J., J.Heuser und A.Rudloff:
Atompraxis 2, 45 (1963)
- (8) Vogel, H. und K.Becker: Nukleonik 1, 18 (1965)
- (9) Gebrauchsanweisung des Fluoro-Glass-Dosimeters
Type FGD - 3 B der Firma Toshiba
- (10) Becker, K.: Nukleonik 4, 154 (1963)
- (11) Kiefer, Maushart: Strahlenschutzmeßtechnik (1964)
- (12) Becker, K.: Kerntechnik 5, 199 (1964)
- (13) Becker, K.: Vortrag 9. Sitzung des Arb.Kreises
IV/2 der deutschen Atomkommission.
- (14) Becker, K.: Dosimeter-Symposium d. OECD in Madrid 1963
- (15) Piesch, E.: Atompraxis 10, 3 (1964)
- (16) Roswitt, B.: American Journal of Roentgenology 3
572 (1961)

Herrn Professor Wachsmann danke ich herzlich für die freundliche Überlassung des Themas und für die Übernahme des Referates, Herrn Dipl.-Ing. Drexler und Herrn Dipl.-Ing. Schmidt für die mir gewährte Unterstützung.

Lebenslauf

Am 18. Juli 1940 bin ich in Nürnberg als Sohn des Amtsgerichtsrates Gottfried Vogel und seiner Ehefrau Maria, geb. Braun, geboren.

Nach vierjährigem Besuch der Volksschule meiner Heimatstadt trat ich 1950 in das Humanistische Gymnasium in Fürth/i.B. ein und erwarb dort 1959 das Reifezeugnis.

Im Wintersemester 1959/60 nahm ich in München das Studium der Zahnheilkunde auf und legte im Frühjahr 1962 das Physikum ab. Mit dem Wintersemester 62/63 wechselte ich an die Universität Erlangen und begann nach insgesamt 10 Studiensemestern im Herbst 1964 mit dem zahnmedizinischen Staatsexamen. Am 9. April 1965 konnte ich es erfolgreich abschließen.



Buchdruck und Fotodruck Ludwig Müller, Erlangen, Fahrstraße 5